

都市雨水に起因する環境リスクマネジメント

Management of Rainfall Related Environmental Risks in Urban Area

酒井 彰* 萩原良巳** 張 昇平*** 浅田一洋****
Akira SAKAI Yoshimi Hagihara Zhang Shengping Kazuhiro ASADA

ABSTRACT: Rainfall brings urban residents both blessings, such as water resources, and inundation risk. Recently, it is recognized that wet weather flow discharges pollutant load and transfer chemicals and pathogen bacteria into aquatic ecosystem. Wet weather flow causes not only deterioration of water quality but also environmental pollution risk. The authors think that rainfall brings about negative influences and risks, including inundation, on this social environment. Therefore, the authors will call inundation risk and environmental pollution risk "rainfall related environmental risks". Although these risks are quite different in their characteristics, to decrease these risks is main purpose of urban wet weather flow management. Furthermore, these risks have similar background concerned with urban structure and life-style of urban residents. In this paper, the authors will summarize resembling and different points of these risks. In addition, risk management process and control options of rainfall related risks will be discussed.

KEYWORDS: Risk Management, Inundation Risk, Environmental Pollution Risk, Wet Weather Flow Management

1. はじめに

都市にとって、雨とは水資源をもたらすとともに、都市域の生態系の維持、都市の快適性、さらには、人間の感性の面に対しさまざまな恵沢をもたらすものである。その一方で、大降雨の際は、浸水被害をもたらす可能性がある。また、雨水流出に伴う有機性汚濁負荷、栄養塩類負荷の流出は、受水域に対する水質汚濁源となるほか、雨水流出は有害化学物質、病原微生物の水系放出の主要な経路であると考えられている。すなわち、都市雨水流出は、浸水による生命・財産の損失というリスクのほか、水系環境への汚濁インパクトならびに環境汚染リスクをもたらすものであるということが出来る。

筆者らは、浸水という現象が、都市という人間活動の場としての環境に負の影響をもたらすものであり、都市雨水に起因する環境リスクのひとつの側面であると認識し、環境汚染リスクと併せて都市雨水起因環境リスクと呼ぶこととする。都市雨水起因リスクとしての浸水リスクと環境汚染リスクは、時間的、空間的な被害の現れ方など、その特性において大きな相違点があるが、それぞれのリスクの軽減は都市雨水管理の目的を構成するものであり、リスクをもたらす背景要因において共通するところが少なくないと考えられる。

本論では、以上に述べた都市雨水起因リスクの背景要因ならびに特性を明らかにし、こうしたリスクに対するリスクマネジメントの方法論ならびに管理手法について考察し、今後の研究課題を明らかにする。

2. 都市雨水流出に伴う環境リスクの定義

リスクという用語は、人間の生命・健康や社会・経済活動にとって、望ましくない事象の①発生の不確かさ

* 流通科学大学商学部 Faculty of Commerce, University of Marketing and Distribution Sciences

** 京都大学防災研究所 Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

*** 名城大学都市情報学部 Faculty of Urban Science, Meijo University

**** 日水コン東京下水道事業部 Tokyo Sewage Works Department, Nihon Suido Consultants, Co., Ltd.

の程度、②望ましくない大きさの程度に関連して使われている。そして、現代においては、リスクをもたらす要因としては、科学技術やこれを応用した種々の人間活動や物的な環境、制度的なリスク対応のおくれなど広範な要因が考えられるとともに、被害の及ぶ客体は、先にあげたように人間の生命・健康や社会・経済活動であり、要因と被害客体とが容易に切り離せないといえることができる。さらに言えば、被害客体は、人間に限らず、生態系を含めて考える方向にある。

一般に環境リスクとは、「ある技術の採用とそれに付随する人間の行為や活動によって、人間の生命の安全や健康、資産ならびにその環境に望ましくない結果をもたらす可能性」(池田、盛岡、1993)と定義されている。すなわち、広範囲な社会的因果構造から派生し、リスクは社会環境全般に及ぶものと解釈される。しかしながら、今日、環境リスクといえば、環境基本計画で定義されているように「(化学物質による)環境の保全上の支障を生じさせるおそれ」という意味で、限定的に使われる場合が多いようである。

本論では、都市雨水流出に関わるリスクを対象とし、リスクを受ける環境を図-1のように認識する(萩原ら、1994)。図-1では、人間活動の場である社会環境(ソシオシステム)は、地球物理的な法則に従うジオシステムと生態学的法則に従うエコシステムから成立する自然環境と相互に関連するものと認識している。ジオシステムとエコシステムは社会環境にとっての存在基盤となっている。こうした環境認識のもとで、環境に及ぼすリスクの総体を環境リスクと定義すれば、都市雨水に起因する環境リスクは、ジオシステムに属する降雨に起因するリスクであるが、被害を拡大する要因はソシオシステムのなかに存在し、さらにはエコシステムの変容も被害拡大要因にあげることができる。そして環境汚染リスクはソシオシステム、エコシステムに及ぶ。

浸水リスク、環境汚染リスクは、それぞれ以下のように定義される。

- 浸水リスク：降雨によって生命・財産に与えられる被害の確率と重大さの測度
- 環境汚染リスク：雨水流出を媒介として、人間の生命の安全や健康、生態系に望ましくない結果をもたらす可能性を示す概念

ここで、これらのリスクの定義に相違が見られるが、これは、浸水リスクが過去に経験されてきたリスクであり、浸水状況のシミュレーションなどにより、降雨流出と浸水の出現と程度の関連をある程度把握できるのに対し、環境汚染リスクは、人体・環境への影響が長期的、複合的で、原因物質、汚染源などを特定することが容易でないことも想定されるため、雨水流出を媒介として危険がもたらされる可能性を示す概念であるといえることができる。

3. 都市雨水起因リスクの背景要因と特性

3.1. 都市雨水起因リスクの背景要因

環境汚染リスクならびに浸水リスクの背景要因は多様である。都市雨水流出によって被害がもたらされる構造は、図-2のようにとらえることができ(岡田、1985)、都市雨水起因リスクは、自然現象である降雨

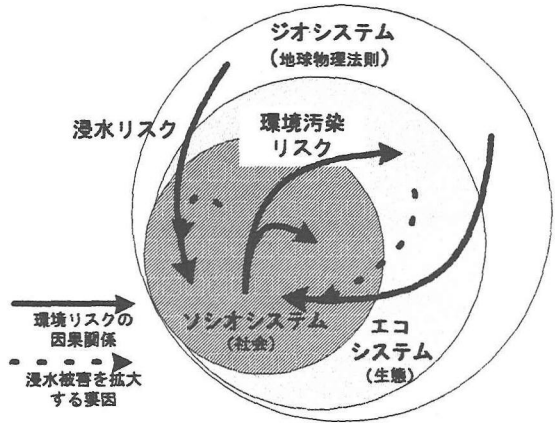


図-1 環境の認識と都市雨水に起因する環境リスク

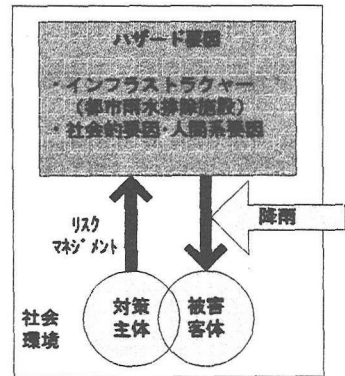


図-2 都市雨水起因リスクの発生構造

が被害をもたらす直接的原因となるものの、ハザード要因によって環境汚染や浸水による被害の程度が大きく左右されることになる。

都市雨水起因リスクに関わるハザード要因には、図－１に示すように都市雨水排除のためのインフラストラクチャーの欠陥、都市構造や、都市住民のライフスタイルなどの社会的要因、人間の意識・無知などの人間系要因があげられる。表－１にこれらをまとめるが、結果的には都市活動や都市構造そのものと関わってくる。技術リスクについても、その不完全さをもたらしてきた原因には、これまで述べてきたリスクに対する社会的な認知が十分でなかったために、対策の実施が遅れたことに起因しているということもできる。

3.2. 浸水リスク・環境汚染リスクの特性

降雨起因の環境リスクは降雨現象がもたらすものではあるが、浸水リスクは数年に１回程度以下の確率で生起する大規模降雨を契機としており、降雨事象そのものが危険事象となっている。一方、環境汚染リスクは、降雨流出が水域汚染の主要な媒介になっているということができ、普段の降雨事象の積み重ねが累積的にリスクをもたらしている。

被害・影響の時空間的現れ方の特性としては、浸水リスクは長い再現年を有する降雨によってもたらされ、地形や都市施設の条件にも関与するため、その時空間な影響範囲は限定される。一方、降雨流出に起因する環境リスクの影響範囲は、不確定で広がりを持っており、時間的空間的にこれを特定することは難しい。

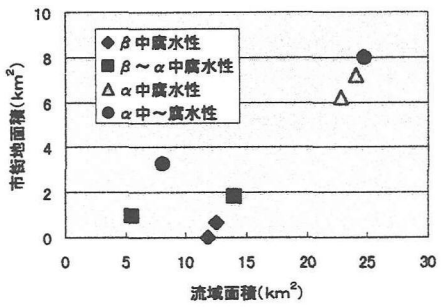
雨天時水質問題にのうち、とくに水域内部での生産をもたらす栄養塩類負荷や化学物質の流出に関しては、一過性の問題として捉えるべきではないにもかかわらず、都市域からの雨天時水質問題は一過性の問題、あるいは単に一定期間の水域放流負荷量の合計でとらえてきた。このため、都市雨水流出が水域へ及ぼす累積的な影響を定量化した例は少ない。

図－３は、都市流域のほとんどが既に合流式下水道で整備され、晴天時の水質は、上下流ともBOD2mg/l未満と良好な都市河川水域において、生息する底生生物種より判断した生物学的水質判定結果と市街地面積の関係を示したものである（酒井、1992）。流域面積に対し、市街地面積の割合が高いほど、すなわち、合流式下水道からの雨天時流出負荷量が大きくなる可能性が高くなるほど、生息する生物種がより汚濁した水域に生息する生物にシフトしており、断続的に繰り返される市街地雨水流出のインパクトが生物種に影響を与えている可能性が示唆される。

曝露条件において変動の大きいときの積分的影響を把握するための方法を検討する必要があるなかで、非常に限られた知見であるが、生物学の指標の活用はひとつの有効な方法であるということができる。

表－１ 都市雨水起因リスクのハザード要因

	概要	浸水リスク	環境汚染リスク
技術要因	都市雨水排除システムの不完全さがもたらすリスク	人工施設への過度の依存：計画超過降雨に対する不十分な対応	合流式下水道雨天時越流水問題 大気汚染
社会的要因	雨水がもたらすリスクを考慮しない社会構造	降雨流出増をもたらす都市構造 低湿地帯等への都市域のスプロールの拡大	危険物、有害物管理の不徹底
人間系要因	人間の活動と雨水がもたらすリスクに関する認知不足→リスクの認知能力の低下	情報提供の不足（浸水危険地図等）	情報提供の不足：無意識な有害化学物質の使用・廃棄→ノンポイントソースの集積



図－３ 市街地面積の大きさと生物学的水質判定

環境汚染リスク発生の根本原因は化学物質等の管理であり、化学物質の管理の安定性確保を困難にする外的要因として降雨が存在する。ただし、リスクマネジメントを考える場合、降雨現象と汚濁・汚染物質の流出、水域環境への影響との関わりを把握しておく必要性は大きいと考えられる。表-2 は、合流式下水道システムの規模と越流状況を示したものである（酒井，張，1996）。遮集能力や越流水を貯留する施設規模により、越流の生起頻度、越流水質は大きく変化する。とくに遮集能力向上により越流頻度が、貯留容量の増加により越流水有機物(COD)濃度が低減する。合流式下水道において、越流事象を抑制することは、環境汚染リスク軽減の前提とみることができる。

表-2 越流状況の比較（越流量毎の越流頻度）

		遮集能力 2 mm/hr		遮集能力 5 mm/hr		地 先 貯 留（2 Qs 遮集）						分流雨水管	
		①	②	①	②	貯留無し		20m ³ /ha貯留		50m ³ /ha貯留		①	②
越	越流無し	14		42		7		16		32		—	
流	1.0*DWf以上	20	8	8	1	27	14	25	1	23	0	35	3
回	0.5*DWf～1.0*DWf	9	7	5	3	7	7	6	5	2	0	16	7
数	0.5*DWf未満	27	27	15	11	29	29	23	21	13	7	19	9
越流負荷量 (CODt/年)		7.58		2.34		11.13		6.93		4.47		10.24	
越流平均水質 (CODmg/l)		15.3		10.0		17.7		12.2		9.2		10.5	

注：①総回数,②COD≧20mg/lとなる回数, Qs:晴天時時間最大汚水量, DWf:日平均汚水量, 降雨回数70回

浸水リスクと環境汚染リスクの特性をまとめると以下のようになり、被害発生の形態の面から見た特性に関しては相違点が多いといえる。

- 浸水リスク：浸水という現象が水量的な問題であり、過去にも被害を経験しているため被害の程度は予測可能である。浸水をもたらすような降雨の生起頻度は小さく、空間的に浸水の起こる地区が限定される。
- 環境汚染リスク：質的問題であり、複合的、累積的な影響を受けることから、被害の発生を推定する際の不確実性が多い。このため、環境汚染リスクを認知することが難しい。

3.3. 都市雨水起因環境リスクの発生構造

都市雨水起因リスクとしての浸水リスク、環境汚染リスクの管理を考えるためには、その問題の構造を明らかにしておく必要がある。図-4は、浸水リスク、環境汚染リスクをもたらしてきた要因構造をおもに現象面から示したものである。

この図から、次の3つの要因を指摘することができる。これらは、今日の資源環境問題や廃棄物問題を生じさせてきた原因と同じであるといえることができる。

- ① 都市活動の拡大を是としてきたこと。
- ② 都市活動に必要な資源の開発,化学物質の利用を是としてきたこと。
- ③ 排除先である水域への十分な配慮を欠いたまま,雨水排除施設へ依存してきたこと。

降雨は都市水循環の入力となるものであるが、これまでわが国では、もっぱら雨水の速やかな排除を意図したインフラストラクチャーを建設してきた。この結果、都市雨水の資源利用は限定的にしか行われな

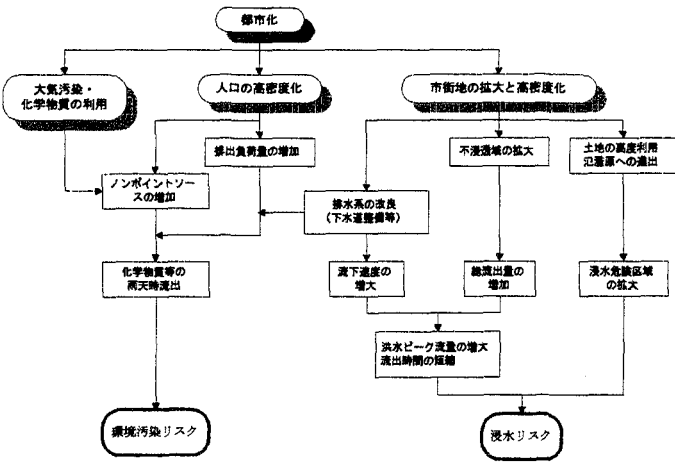


図-4 浸水リスク、環境汚染リスクの問題構造

うになり、都市における保水能力の低下、都市河川の低水時流量の低下など、都市雨水が都市住民にもたらしてきた恵沢をも喪失させるとともに、都市住民と雨水との接点が限られたものになった。そしてそのことが住民のリスク認知能力の低下につながっていると考えられる。

前項で述べた浸水リスク、環境汚染リスクの特性は主に被害発生形態の面からの特性であり、この点に関しては相違点が多い。しかしながら、リスクをもたらす背景要因が、都市構造、社会構造そのものに関わっているという点では共通しているといえる。

4. リスクマネジメントプロセス

ここでは、浸水リスク、環境汚染リスクそれぞれのマネジメントプロセスを整理する。リスクマネジメントとは、図-5に示すように、被害の確率と重大さを定量し、代替案の設計を行うリスクアセスメントのプロセスとリスクをコントロールする手法を決定し、その有効性を検証していくリスクコントロールのプロセスを併せた体系と考えることとする。図-5ではこのリスクマネジメントのプロセスが循環的にくり返されていること、各プロセスにリスクを受ける可能性の高い住民を含めた利害関係者が関与すべきであることを表している。

表-3は、リスクマネジメントのプロセス毎に浸水リスク及び環境リスクのマネジメントの内容、留意事項をまとめたものである (Neils, 1992)。このうちの(1)~(4)がリスクアセスメントに相当し、(5)(6)がリスクコントロールに相当する。

表-3 都市雨水起因のリスクマネジメントプロセス

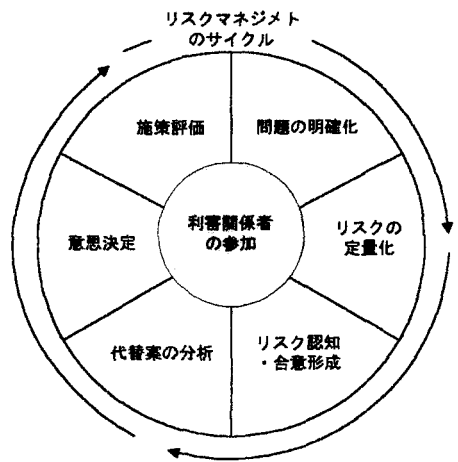
	浸水リスクマネジメント	環境汚染リスクマネジメント
(1) 問題（ハザード要因）の明確化	■ 都市雨水排除能力 ■ 受水域の条件	■ 有害化学物質の使用・管理状況 ■ 面源堆積負荷量（ノンポイントソース）の定量 ■ 都市雨水排除システムの条件（排除方式等）
(2) リスクの定量化	■ 浸水頻度及び浸水深の予測 ■ 浸水被害額の予測	■ 化学物質の危険性評価（リスクアセスメント） ■ 有害化学物質排出の可能性 ■ 排出量の定量 ■ 受水域での影響の定量（水利用、生態系） ■ 環境中での汚染物質の挙動
(3) リスク認知・合意形成	■ リスクの社会的認知、社会的合意形成 ■ 過去の判例によるリスク軽減目標の設定＝床下浸水 ■ 被害救済、補償制度、事後対策の体制等により許容水準は異なる。	■ リスクの社会的認知、社会的合意形成 ■ 物質毎の規制値・指針値（例えば環境基準、ダイオキシン耐容1日摂取量）
(4) 代替案の分析	■ 浸水頻度の低減 ■ 浸水被害の低減	■ 発生源対策（使用・生産禁止、有害廃棄物管理） ■ 合流式下水道雨天時越流制御
(5) 意思決定	■ 情報公開：ハザードマップ ■ 住民参加	■ 化学物質を含む製品、適正な管理についての情報提供 ■ 住民参加
(6) 施策評価	■ 流出結果 ■ 土地利用条件の変化の追跡	■ 環境モニタリング ■ 政策の評価

表-3の各プロセスの意図するところは以下の通りである。

- (1) 問題の明確化：被害の発生あるいは被害の程度は、その地域のハザード要因によって大きく左右され、ハザード要因を明らかにし、これを地域で共通に認識することが被害の軽減につながっていく。降雨という自然現象はコントロールの対象になり得ないため、浸水リスク、環境汚染リスクのコントロールはこのハザード要因を明らかにし、ハード、ソフトの対策によりコントロールすることに他ならない。
- (2) リスクの定量化：定量化の尺度を設定し、被害の重大さと確率を定量する。浸水被害の場合、浸水深や被害額としてカウントされ、実績あるいはシミュレーションの結果得られた浸水深についてハザードマ

ップとして表現される。環境汚染リスクの場合、その汚染源として①有機性負荷、栄養塩類負荷、②病原微生物、③有害化学物質があり、それぞれ定量化の尺度としての指標を設定する必要がある。都市の陸域におけるハザードの状況はわかっても、水域に対してどれだけ排出され、水系生態系等にどれだけの影響を与えているかを調査あるいは推定することは容易でない。

- (3) リスク認知・リスク管理レベルに関する合意形成：住民を含めた利害関係者がどの程度のリスク軽減、すなわちリスク管理レベルを求めているかを判定するためには、利害関係者がリスクについて認知していることが前提になる。リスク認知に至るプロセスとして(1)、(2)の情報を関係者に周知することが求められる。浸水リスクに対しては、従来、過去の判例などから、行政側が責任を問われないレベル、例えば床下浸水までを受忍限度として、リスクマネジメントの目標とするといった措置がとられてきた。環境汚染リスクに関しては、被害が顕在化するまでに関与する要因も多様であり、現状では、危険度の高い物質を優先的に選択し、環境基準値、許容曝露水準の指針値などをもってリスクマネジメントの目標とすることが行われている。しかしながら、リスク管理レベルは、都市の成熟度や価値観によって大いに異なり、賠償、保険などの制度、事後対策の体制整備などにより、関係者が許容できる水準は異なってくる。また、立場の異なる関係者間でも差が生じるものと思われ、社会的な合意形成手法の開発が求められる。
- (4) 代替案の分析：(2)で得られた被害の程度を軽減するための代替案を設計し、費用効果分析等を行う。この場合、何も対策をとらないという代替案も共通の方法で比較評価の対象とする必要がある。そして、各代替案実施のためのコスト、関係者の役割分担に関しても明示することが求められる。
- (5) 意思決定：(1)～(4)に関する情報公開、利害関係者参加のもとでマネジメント方策を決定する。この過程では、専門を異にする関係者間での意思疎通を図るためリスクコミュニケーションが必要になる。
- (6) 施策の評価：(5)に基づき、何らかの対策がとられたとしても、この対策効果には不確実性が伴うものであり、事後的なモニタリングが必要である。多くの場合、リスクの解消へ向けて段階的に方策を選定していかなければならないわけであるから、モニタリングの結果は、施策の評価と新たな問題の明確化につながり、図－5に示すようにリスクマネジメントのプロセスは循環的に繰り返されることになる。



図－5 リスクマネジメントのサイクル

5. 都市雨水に起因する環境リスクマネジメント方策

表－4は都市雨水に起因する浸水リスク、環境汚染リスク別にリスクを管理する手法をまとめたものである。リスクマネジメント方策は、3.での考察から、都市雨水排除施設に関わる技術的な不完全さをリスクマネジメントの観点から解消することとともに、制度的方策、さらには3.3で指摘したこうしたリスクを発生させている根本の原因の解消も視野に入れていかなければならない。

浸水リスクに関しては、従来からの浸水現象のコントロールに加えて、被害の軽減、被害の救済を含めて考えていく必要がある。環境汚染リスクについては、ハザード要因の除去あるいは低減を第一義的に考える必要がある。このためには、環境汚染リスクについての社会的認知を得ることにより、住民を含めた関係者が有害化学物質の管理に関与していくことが必要になる。関係者の環境汚染リスク管理への参画という意味

では、社会全体での化学物質の抑制へ向けたインセンティブが機能するような政策導入も必要になってくる。さらに、モニタリング情報、PRTR 制度により得られる情報は、問題の明確化、具体的リスク管理の実施のために広範に活用することが求められる。また、都市雨水流出は化学物質の水域への移行の経路として、あるいは化学物質に暴露する媒体ひとつとして考えられるわけであるが、このような情報をもとに他の移行経路及び媒体と比較することも必要となる。

技術的対策については、単一目的・機能の施策から、これら2つのリスク軽減ばかりでなく、多面的機能を有する方策の採用が求められ、浸水リスク、環境汚染リスクの軽減は、都市雨水管理の目的として統合的に図られていく必要がある。都市雨水管理システムに組み込んでいかなければならない点として、2つのリスクに共通して言えることは、情報提供によるリスク認知能力の向上であり、その結果、住民の関与が促されることになる。

表－4 都市雨水に起因する環境リスクマネジメント方策

マネジメント方策		浸水リスク	環境汚染リスク
避難・訓練		● 避難訓練 ● 洪水予警報 ● 水防活動	
被害軽減		● 建物の耐水化・防水化 ● ピロティ（高床）住宅	
都市雨水流出・汚濁負荷流出対策	ソースコントロール		● 道路面清掃
	雨水流出制御	● 雨水貯留 ● 雨水浸透 ● 雨水利用	
	雨水・汚染物 流下過程	● 能力増強 ● 大規模貯留管	● 遮集能力の向上 ● 都市下水排除システムの再編成 （屋根排水分離 道路排水の取り込み）
	流末対策	● 貯留	● 雨水流出水あるいは合流下水の処理 ● 貯留
排水区管理		● 土地利用規制 ● 浸水区域の指定	● 廃棄物管理計画 ● 有害化学物質管理プログラム ● 大気汚染制御
規制			● 排水規制 ● 有害化学物質生産・使用規制
経済的手法		● 水害保険	● デポジット制（農薬等） ● 排出権取引
情報提供		● 危険度マップ	● 化学物質、製品情報 ● PRTR 情報の活用 ● モニタリング情報

6. 今後の課題

これからの都市雨水管理においては、都市雨水に起因する環境リスクとしての浸水リスク、環境汚染リスクに対し、こうしたリスクの問題背景を捉えなおし、従来の都市雨水管理の枠組を再構築しなければならないと考えられる。本研究では、都市雨水管理にリスクマネジメントの視点を導入していくことを意図して、都市雨水起因の環境リスクの背景要因を整理し、リスクマネジメントの方法論、管理方策について考察してきた。

今後、このような方法論体系を確立していくにあたって、住民を含めた関係者が、意思決定ならびにリスク管理に関与するための方法論を示していく必要があるが、前提として関係者がリスクの存在を認知し、発生構造を認識することが必要となる。しかしながら、これまでの都市域における住民と雨水の関わりからは、リスク認知が困難な状況にある。

今後の課題として、現状における認知程度の把握と、その程度にどのような要因が関わっているかを分析し、都市住民のリスク認知能力を向上させるための方策を明らかにする必要がある。さらに、浸水リスク、

環境汚染リスクのマネジメントに利害関係者が参画するための手法を開発する必要がある。

技術的・制度的には、本論で取り上げた2つのリスクの軽減を目的とした都市雨水管理システムを明示する必要がある。そのなかでは、都市住民と雨水との新たな関係の構築を組み入れていくことが求められる。

【参考文献】

池田三郎・盛岡通（1993）：リスクの学際的定義，リスク研究学会誌，Vol.5, No.1, 14-17

岡田憲夫（1985）：災害のリスク分析的見方，土と構造委員会「土と防災」講習会テキスト，土木学会

酒井彰（1992）：都市河川の特性と水質汚濁対策，第14回京都大学環境衛生工学研究会シンポジウム講演論文集，120-125

酒井彰・張昇平（1996）：都市下水排除方式の雨天時汚濁負荷制御機能の評価，下水道協会誌論文集，Vol.33, No.413, 1-14

萩原良巳・高橋邦夫・萩原清子（1994）：親水空間計画方法論，第31回日本地域学会年次大会講演集

Niels C. Lind（1992）：A National Standard for Risk Analysis, Risk Abstract, Vol.9, No.2, 1-3